

Оригинальная статья / Original Paper

DOI 10.30686/1609-9192-2020-1-155-159

Расчет производительности и обоснование параметров кассетного трала для добычи железомарганцевых конкреций

А.С. Каширский¹✉, М.Г. Рахутин², Ю.В. Кириченко², Е.А. Кузин³, Г.С. Иващенко

¹ Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация

² Горный институт НИТУ «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

³ Комитет государственного строительного надзора г. Москвы, г. Москва, Российская Федерация

✉kashirsky@mail.ru

Резюме: В последние годы назрела необходимость разработки месторождений твердых полезных ископаемых Мирового океана. Для их добычи предлагается использовать кассетный трал. В статье обоснованы его основные параметры, приведены расчеты производительности и рекомендации по использованию, представлена принципиальная схема использования кассетного трала при разработке или опробовании конкрециеносных залежей. Исследование показало, что ширина захвата трала, скорость траления, плотность залегания конкреций существенного влияния на производительность кассетного трала для добычи железомарганцевых конкреций не оказывают. Наиболее значимыми факторами, определяющими производительность, являются глубина и скорость подъема и опускания трала, количество емкостей в кассете. Применение кассетного трала перспективно и позволяет получить более высокую производительность.

Ключевые слова: минеральные ресурсы, Мировой океан, оборудования для добычи железомарганцевых конкреций, параметры кассетного трала, производительность

Для цитирования: Каширский А.С., Рахутин М.Г., Кириченко Ю.В., Кузин Е.А., Иващенко Г.С. Расчет производительности и обоснование параметров кассетного трала для добычи железомарганцевых конкреций. Горная промышленность. 2020;(1):155–159. DOI 10.30686/1609-9192-2020-1-155-159.

Calculation of Productivity and Justification of Cassette-Type Sweeper Parameters for Ferro-Manganese Nodule Mining

A.S. Kashirskiy¹✉, M.G. Rakhutin², Yu.V. Kirichenko², E.A. Kuzin³, G.S. Ivashchenko

¹ RF Ministry of Industry and Trade, Moscow, Russian Federation

² Mining Institute of National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

³ Committee for State Construction Supervision of the City of Moscow, Moscow, Russian Federation

✉kashirsky@mail.ru

Abstract: The need to develop mineral deposits of the world ocean has matured in recent years. It is suggested to use a cassette-type sweeper for their extraction. The paper justifies its main parameters, provides calculations of productivity and recommendations for its application, presents a schematic diagram of the cassette-type sweeper use for the mining or sampling of nodule deposits. The study demonstrated that the cassette width, trawling speed and nodule abundance do not have any significant impact on the productivity of the cassette-type sweeper for ferro-manganese nodule mining. The most significant factors defining the productivity are the depth and speed of sweeper lifting and lowering as well as the number of intake vessels in the cassette. Application of the cassette-type sweeper looks promising and helps to improve productivity.

Keywords: mineral resources, world ocean, equipment for ferro-manganese nodule mining, cassette-type sweeper parameters, productivity

For citation: Kashirskii A.S., Rakhutin M.G., Kirichenko Yu.V., Kuzin E.A., Ivashchenko G.S. Calculation of Productivity and Justification of Cassette-Type Sweeper Parameters for Ferro-Manganese Nodule Mining. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2020;(1):155–159. (In Russ.) DOI 10.30686/1609-9192-2020-1-155-159.

Введение

Месторождения железомарганцевых (ЖМК) и кобальто-марганцевых (КМК) конкреций и корок, расположенные на дне Мирового океана, необходимо рассматривать как минеральное сырье, предназначенное уже завтра поддержать существующие темпы развития нашей цивилизации.

Уже в 1950–1980 гг. железомарганцевые образования (ЖМО) морского дна привлекли внимание специалистов многих зарубежных стран и СССР. В 1957 г. исследования показали, что в ЖМО содержатся промышленные концентрации никеля (Ni) – до 1% и кобальта (Co) – до 2%. Новый, качественный скачок в необходимости освоения твердых полезных ископаемых (ТПИ) морского дна принесло открытие рудоносных илов и рассолов, содержащих медь (Cu), цинк (Zn) и золото (Au), в глубоководных впадинах Красного моря в 1964–1966 гг.

Официально первое месторождение ЖМК, имеющее промышленное значение, было открыто в разломе Клариион-Клиппертон в 1974 г. фирмой США «Дипси Венчурс». Было заявлено следующее содержание: марганец (Mn) = 27,3%, никель (Ni) = 1,24%, медь (Cu) = 1,01%, кобальт (Co) = 0,2%.

Геологоразведочные работы в разломе Клариион-Клиппертон активировали разведку в Мировом океане многими странами мира и в 1978 г. в районе Восточно-Тихоокеанского поднятия обнаружены глубоководные полиметаллические сульфиды, содержащие медь (Cu), цинк (Zn), золото (Au) и серебро (Ag) [1–3].

Советский Союз благодаря правильному пониманию стратегического значения этого сырья будущего и, обладая высокотехнологичным исследовательским оборудованием и высокопрофессиональными научными кадрами, сопровождаемыми щедрым финансовым обеспечением, смог к середине 1970-х годов стать мировым лидером в области разведки и изучения ЖМО. Именно это позволило в 1987 г. Советскому Союзу стать одним из первых заявителей и обладателем Международного Сертификата на участок ЖМК площадью 75 тыс. км² в Тихом океане.

Как уже отмечалось, Fe-Mn конкреционные руды являются уникальным минеральным сырьем – высококачественной оксидной рудой на марганец и другие металлы. В пределах российского заявленного участка поля Клариион-Клиппертон она отличается стабильным вещественным составом: никель (Ni) = 1,42%; медь (Cu) = 1,15%; кобальт (Co) = 0,23%; марганец (Mn) = 30,17%. Отклонения от среднего содержания не более 10–20%.

В настоящее время усилиями «ВНИИОкеанологии» и «Южморгеологии» Российская геологоразведочная служба продолжает работу в Мировом океане. В США, во Франции, в Великобритании, ФРГ, Японии проблемами разведки и добычи твердых полезных ископаемых со дна морей и океанов занимаются десятки различных учреждений: от университетов до корпораций, специально созданных комитетов и других ведомств. Подобные работы ведутся в Китае, Норвегии, Швеции, Италии, Австрии, Бразилии и т.д. Необходимо отметить, что во многих странах (в первую очередь в Китае и США) проблема освоения морских месторождений ТПИ признана стратегической общегосударственной задачей, планируется и контролируется правительством.

В горном институте НИТУ «МИСиС» разработан кассетный трал, предназначенный для опытно-промышленной и промышленной их добычи [4]. Конструкция данного аппарата предусматривает оснащение его рыхлителем для подготовки забоя к выемке и валковым грохотом для

отделения вмещающих илов. Он также предусматривает изготовление в нескольких вариантах в зависимости от инженерно-геологических условий месторождения ЖМК и задач использования. Основной отличительной особенностью кассетного трала служит самостоятельный подъем (за счет газовых баллонов) горной массы (на воздухе) от 400 до 500 кг на поверхность одной сетчатой емкостью, а с использованием всей кассеты за один проход трала объемом составляет от 10,5 т до 20 т. Производительность данного аппарата значительно превышает производительность других предлагаемых конструкций [5–8].

Определение производительности и конструктивных параметров в заданных условиях

Для определения производительности и конструктивных параметров были произведены расчеты для разных типоразмеров кассетного трала. Учитывались и задавались следующие параметры:

- количество сетчатых емкостей в кассете;
- грузоподъемность емкости (Q);
- ширина заходки (захвата) трала (A_з);
- скорость траления (v).

Если ширина заходки определяется типоразмером ковша кассетного трала и остается неизменной в процессе добычных работ, то количество сетчатых емкостей в кассете может меняться в зависимости от условий эксплуатации.

При определении параметров кассетного трала и расчетах его технологических возможностей учитывались многолетний зарубежный и отечественный опыт морских геологоразведочных и горно-разведочных работ

Опыт драгирования волокушами показывает, что наилучшие результаты показывали коробчатые драги-волокуши, оснащенные рабочей доской длиной от 0,5 до 2,0 м (ширина захвата) со средней скоростью перемещения ковша 1,8 м/с. Исходя из этого при определении параметров кассетного трала задавались следующие условия (рис. 1):

- ширина захвата (заходки) A_з = 1,0 м; 1,5 м; 2,0 м; 2,5 м;
- количество сетчатых емкостей в кассете принималось равным n = 12 шт.; такое количество является оптимальным с точки зрения технологичности изготовления и эксплуатации – длина трала в пределах 6,0–8,0 м с учетом качающейся плиты при достаточной общей производительности комплекса;

– грузоподъемность одной сетчатой емкости Q = 400 кг; 500 кг; 750 кг, которая определяется глубиной разработки и видом используемого газа; здесь также необходимо учитывать задачи использования комплекса;

– плотность залегания конкреций q_{зан} = 2,0 кг/м²; 5,0 кг/м²; 10,0 кг/м²; 15,0 кг/м²; 20,0 кг/м²; 30,0 кг/м². Причем, при расчетах учитывались определенные допущения – при определении грузоподъемности в плотность залегания включалась доля вмещающих и подстилающих конкреции донных илистых отложений, которые могут достигать при заборе 5–15% от общего веса поступающих в сетчатую емкость пород;

– общая производительность трала при выработке всей кассеты (12 шт.) Q_о = 4,8 т; 6,0 т; 9,0 т конкреций во влажном виде на воздухе;

– скорость движения (буксировки) кассетного трала v = 0,5 м/с; 0,75 м/с; 1,0 м/с; 1,5 м/с; 2,0 м/с (1,8 км/ч; 2,7 км/ч; 3,6 км/ч; 5,4 км/ч; 7,2 км/ч).

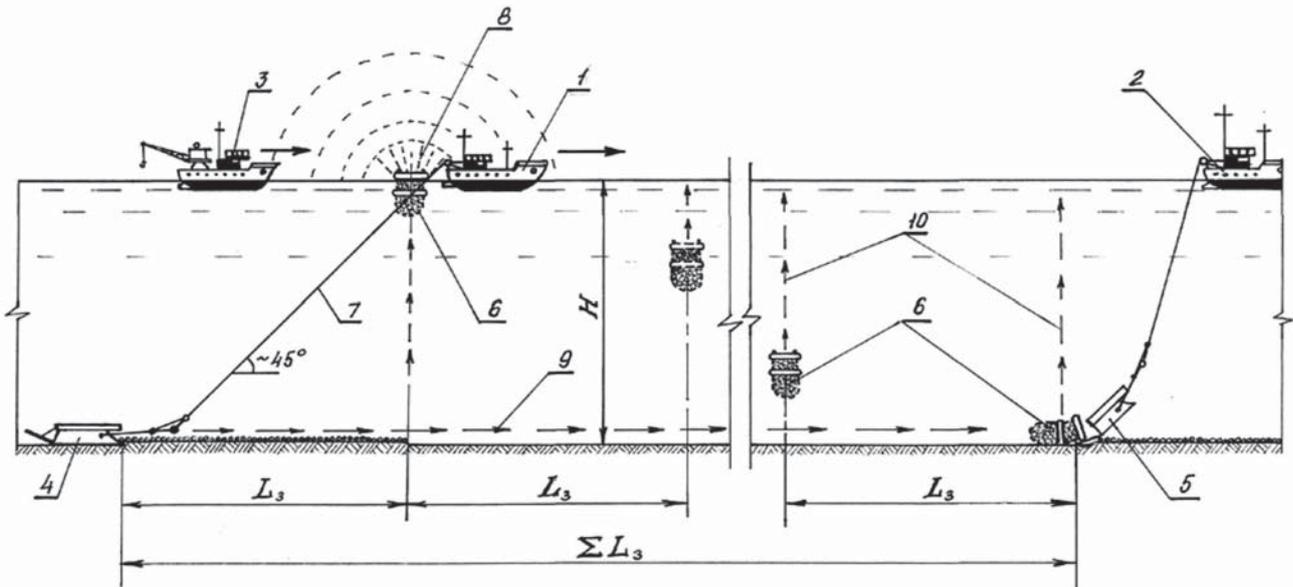


Рис. 1
Принципиальная схема использования кассетного трала при разработке или опробовании конкрециеносных залежей:
1 – положение буксирного судна в начале траления; 2 – положение буксирного судна в конце траления; 3 – судно-сборщик;
4 – положение кассетного трала в начале заходки; 5 – положение кассетного трала в конце заходки; 6 – сетчатые емкости;
7 – буксирный трос; 8 – сигнальное устройство; 9 – траектория движения трала; 10 – траектория движения сетчатых емкостей

Fig. 1
Schematic diagram of cassette-type sweeper use for mining or sampling of nodule deposits: 1 – location of the towing vessel at the start of trawling; 2 – location of the towing vessel at the end of trawling; 3 – collecting vessel; 4 – location of the cassette-type sweeper at the start of the pass; 5 – location of the cassette-type sweeper at the end of the pass; 6 – meshed containers; 7 – tow rope; 8 – signalling device; 9 – sweeper movement trajectory; 10 – meshed containers movement trajectory

Для удобства анализа процесса добычи и повышения точности прогноза производительности комплекса (судно, буксир, трал) предложено рассматривать техническую W_m и эксплуатационную (фактическую) W_s производительность [9].

При расчете технической производительности, т.е. максимально возможной в данных условиях производительности с учетом затрат времени на необходимые вспомогательные операции, предложено учитывать следующие факторы: скорость траления, ширина трала, плотности залегания конкреций на обрабатываемом участке.

Производительность заполнения одной кассеты можно определить из выражения

$$W = A_3 \cdot v \cdot q_{зал}$$

где A_3 – ширина захвата (заходки), м; $q_{зал}$ – плотность залегания конкреций, кг/м²; v – скорость движения (буксировки) кассетного трала

Продолжительность подъема и спуска кассетного трала определяется с использованием значений их скоростей и глубины разработки.

$$T_{nn} = \frac{H}{V_n};$$

$$T_c = \frac{H}{V_c}.$$

Для упрощения расчетов и изложения материалов прием скорость подъема и спуска трала одинаковой и обозначим ее V_{cn} , тогда

$$T_c = T_n = \frac{H}{V_{cn}}.$$

Полноту сбора конкреций, – предлагается учитывать коэффициентом K_p , имеющего диапазон от 0 до 1. При отсутствии потерь при сборе ЖМК предлагаемый коэффициент принимает значение «1».

Значение коэффициента разубоживания конкреций налипшими илами предлагается определять с использованием выражения:

$$\eta = 0.01x(100 - \Pi_{\%}),$$

где $\Pi_{\%}$ – процент разубоживания конкреций налипшими илами.

Тогда выражение для определения величины технической производительности примет вид:

$$W_T = 0.6 \cdot A_3 \cdot v \cdot q_{зал} \cdot K_n \cdot \eta \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Q \cdot \eta}{A_3 \cdot q_{зал} \cdot v \cdot K_n}}{\sum_{i=1}^n \frac{Q \cdot \eta}{A_3 \cdot q_{зал} \cdot v \cdot K_n} + \frac{2H}{V_{cn}} + \sum_{i=1}^{n-1} T_o + T_n} \text{ т/час},$$

где T_n – продолжительность подготовки кассетного трала на судне к работе (загрузки), Q – грузоподъемность емкости, n – количество сетчатых емкостей в кассете, η – коэффициент разубоживания конкреций налипшими илами; T_o – продолжительность отделения заполненной сетки и подготовка следующей к работе.

При расчете эксплуатационной (фактической) производительности предлагается дополнительно учитывать погодные факторы, надежность комплекса и уровень организации работ.

Фактор погоды предлагается учитывать с использованием коэффициента «метеорологических условий» K_M , определяемого соотношением количества благоприятных для добычи дней N_b к их общему количеству N_o

$$K_M = \frac{N_b}{N_o}.$$

Надежность комплекса предлагается учитывать через продолжительность устранения отказов (времени восстановления) T_{yo} .

Уровень организации работ предлагается учитывать через продолжительность простоев по организационным

причинам T_{on} , например, отсутствием возможности разгружать всплывающие емкости.

Тогда выражение для определения величины эксплуатационной (фактической) производительности примет вид (т/час):

$$W_{\Sigma} = 0.6 \cdot A_3 \cdot v \cdot q_{\Sigma} \cdot K_n \cdot \eta \cdot K_M \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Q \cdot \eta}{A_3 \cdot q_{\Sigma} \cdot v \cdot K_n}}{\sum_{i=1}^n \frac{Q \cdot \eta}{A_3 \cdot q_{\Sigma} \cdot v \cdot K_n} + \frac{2H}{V_{cn}} + \sum_{i=1}^n T_o + T_n + T_{yo} + T_{on}}$$

Проанализируем влияние горнотехнических и горно-геологических факторов на производительность комплекса по добыче ЖМК. Факторы и значения технической и эксплуатационной производительности представлены в табл. 1. Жирным шрифтом выделены изменяемые величины факторов относительно базовых значений (табл. 1, строка 1).

Таблица 1
Факторы и значения технической и эксплуатационной производительности

№	A, м	v, м/мин	q, кг/м ²	K_n	n, шт	T_o , мин	T_{no} , мин	H, м	η	V_{cn} , м/мин	Q, кг	Wm, т/час	W Σ , т/час
1	2	30	20	0.95	12	1	10	5000	0.9	50	500	12.9	9.7
2	4	30	20	0.95	12	1	10	5000	0.9	50	500	13.1	9.8
3	2	60	20	0.95	12	1	10	5000	0.9	50	500	13.1	9.8
4	2	30	2	0.95	12	1	10	5000	0.9	50	500	10.9	8.1
5	2	30	2	0.95	6	1	10	5000	0.9	50	500	5.6	4.2
6	2	30	20	0.95	12	1	10	250	0.9	50	500	81.6	61.2
7	2	30	20	0.95	12	1	10	5000	0.9	100	500	94.9	71.2
8	2	30	20	0.95	12	1	10	5000	0.9	50	1000	25.3	19
9	2x2	30	20	0.95	12x2	1	10	5000	0.9	50	500	24.8	18.6

Table 1
Factors and values of technical and operational performance

Таблица 2
Влияние скорости траления на производительность

№	A, м	v, м/мин	q, кг/м ²	K_n	n, шт	T_o , мин	T_{no} , мин	H, м	η	V_{cn} , м/мин	Q, кг	Wm, т/час	W Σ , т/час
1	4	30	20	0.95	12	1	10	5000	0.9	50	500	13.1	9.8
2	4	30	20	0.95	12	1	10	5000	0.9	100	500	23.6	17.7
3	4	30	20	0.95	12	1	10	5000	0.9	200	500	39.7	29.8
4	4	60	20	0.95	12	1	10	5000	0.9	50	500	13.1	9.8
5	4	60	20	0.95	12	1	10	5000	0.9	100	500	23.9	17.9
6	4	60	20	0.95	12	1	10	5000	0.9	200	500	40.4	30.3
7	4	90	20	0.95	12	1	10	5000	0.9	50	500	13.1	9.9
8	4	90	20	0.95	12	1	10	5000	0.9	100	500	23.9	18
9	4	90	20	0.95	12	1	10	5000	0.9	200	500	40.6	30.5

Table 2
Effect of trawling speed on productivity

Таблица 3
Влияние глубины и скорости погружения на производительность

№	A, м	v, м/мин	q, кг/м ²	K_n	n, шт	T_o , мин	T_{no} , мин	H, м	η	V_{cn} , м/мин	Q, кг	Wm, т/час	W Σ , т/час
1	4	30	20	0.95	12	1	10	5000	0.9	50	500	13.1	9.8
2	4	30	20	0.95	12	1	10	5000	0.9	100	500	23.6	17.7
3	4	30	20	0.95	12	1	10	5000	0.9	200	500	39.7	29.8
4	4	30	20	0.95	12	1	10	500	0.9	50	500	67.2	50.4
5	4	30	20	0.95	12	1	10	500	0.9	100	500	87.4	65.5
6	4	30	20	0.95	12	1	10	500	0.9	200	500	102.8	77.1
7	4	30	20	0.95	12	1	10	250	0.9	50	500	87.4	65.5
8	4	30	20	0.95	12	1	10	250	0.9	100	500	102.8	77.1
9	4	30	20	0.95	12	1	10	250	0.9	200	500	112.7	84.5

Table 3
Effect of depth and sinking rate on productivity

При анализе величина K_m принята во всех расчетах 0.9, продолжительность устранения отказов и простоев по организационным причинам по десять процентов от суммарной продолжительности рабочих и вспомогательных операций.

Как видно из табл. 1 основное влияние на производительность оказывают скорость и глубина подъема, количество сеток в кассете и вместимость одной сетки (табл. 1, строки 5, 6, 7, 8).

В тоже время не ширина захвата трала, ни скорость траления, ни плотность залегания конкреций не оказывают существенного влияния на производительность (табл. 1, строки 2, 3, 4).

Если соединить между собой 2 трала, то, например, при исходных показателях строки 1, производительность соединенных тралов можно рассчитывать как трал с удвоенным значением ширины захвата и количества сеток в кассете (табл. 1, строка 9), при этом значение производительности объединенного трала практически совпадает с произведением их количества на производительность одного трала.

В табл. 2 проанализировано влияние скорости траления на производительность кассетного трала. Из данных таблицы наглядно видно, что изменение скорости траления незначительно влияет на производительность.

Наиболее значимыми факторами, определяющими производительность, являются глубина и скорость подъема и опускания трала. Результаты расчета представлены в табл. 3. Наглядно видно, что с увеличением глубины производительность уменьшается по квадратической зависимости.

Выводы

1. Для рассматриваемых условий (при больших глубинах разработки) ни ширина захвата трала, ни скорость траления, ни плотность залегания конкреций не оказывают существенного влияния на производительность.
2. В этих условиях наиболее значимыми факторами, определяющими производительность, являются глубина и скорость подъема и опускания трала, количество емкостей в кассете.
3. Применение кассетного трала перспективно и позволяет получить более высокую производительность.

Список литературы

1. Кириченко Ю.В., Щёкина М.В. Освоение ресурсов Мирового океана – основа национальной безопасности России (современное состояние и пути решения). В: *Сборник докладов VI съезда гидромеханизаторов России*. М.: ООО «Центр инновационных технологий»; 2012. С. 101–110.
2. Андреев С.И. (ред.) *Минеральные ресурсы Мирового океана: концепция изучения и освоения (на период до 2020 г.)*. СПб.: ВНИИОкеангеология; 2007.
3. Меро Д.Ж. *Минеральные богатства Мирового океана*. М.: Прогресс; 1969.
4. Трубецкой К.Н., Чантурия В.А., Каплунов Д.Р. (ред.) *Комплексное освоение недр: перспективы расширения минерально-сырьевой базы России*. М.: Институт проблем комплексного освоения недр РАН; 2009.
5. Кириченко Ю.В., Каширский А.С. История и перспективы развития глубоководной добычи твердых полезных ископаемых. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(S11):123–134.
6. Плотникова Е.В. (вып. ред.) *Перспективы освоения минерально-сырьевых ресурсов континентального шельфа России и Мирового океана*. М.: Руда и металлы; 2012.
7. Каширский А.С., Рахутин М.Г., Кириченко Ю.В., Кузин Е.А. Перспективы использования новой конструкции трала для разработки полезных ископаемых Мирового океана. *Горная промышленность*. 2019;(6):123–127. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-6-148-123-127.
8. Кириченко Ю.В., Каширский А.С., Иващенко Г.С., Якупов И.И. *Способ добычи железомарганцевых конкреций из илистых донных отложений и устройство для его осуществления*. Патент РФ на изобретение № 2562304 от 11.08.2015.
9. Солод В.И., Зайков В.И., Первов К.М. *Горные машины и автоматизированные комплексы*. М.: Недра; 1981.

References

1. Kirichenko Yu.V., Shchekina M.V. Development of World Ocean Resources is the Basis of Russia's National Security (current status and solution options). In: *Proceedings of the VI Congress of Hydromechanization Specialists of Russia*. Moscow: Tsentr innovatsionnykh tekhnologii; 2012, pp. 101–110. (In Russ.)
2. Andreev S.I. (ed.) *Mineral Resources of World Ocean: Investigation and Development Concepts (for period until 2020)*. St Petersburg: VNIIOkeangeologiya; 2007. (In Russ.)
3. Mero D. Zh. *Mineral Wealth of World Ocean*. Moscow: Progress; 1969. (In Russ.)
4. Trubetskoy K.N., Chanturiya V.A., Kaplunov D.R. (eds) *Integrated Development of Mineral Resources: Prospects for Expansion of Russia's Mineral Resource Base*. Moscow: Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences; 2009. (In Russ.)
5. Kirichenko Yu. V., Kashirskiy A. S. History and prospects of deep sea hard mineral mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015;(S11): 123–134. (In Russ.)
6. Plotnikova E.V. (ed.) *Prospects for development of mineral and raw material resources of Russia's continental shelf and the World Ocean*. Moscow: Ruda i metally; 2012. (In Russ.)
7. Kashirsky A.S., Rakhutin M.G., Kirichenko Yu.V., Kuzin E.A. Prospective Use of New Sweeper De-sign to Mine Minerals from Seabed and Ocean Floor. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2019;(6):123–127. (In Russ.) DOI 10.30686/1609-9192-2019-6-148-123-127.
8. Kirichenko Yu. V., Kashirskii A.S., Ivashchenko G.S., Yakupov I.I. *Method to Mine Ferro-Manganese Nodules from Silty Bottom Sediments and Equipment for its Implementation. RF Patent of Invention No. 2562304 dated 11.08.2015*. (In Russ.)
9. Solod V.I., Zaikov V.I., Pervov K.M. *Mining machines and automated complexes*. Moscow: Nedra; 1981. (In Russ.)

Информация об авторах

Каширский Алексей Сергеевич – эксперт Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация.

Рахутин Максим Григорьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой горных машины Горного института НИТУ «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация.

Кириченко Юрий Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры геологии и маркшейдерского дела Горного института НИТУ «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация.

Кузин Евгений Александрович – начальник Управления по контролю и надзору за объектами метрополитена Комитета государственного строительного надзора г. Москвы, г. Москва, Российская Федерация.

Иващенко Григорий Сергеевич – аспирант кафедры геологии и маркшейдерского дела Горного института НИТУ «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация.

Information about the author

Alexey S. Kashirskiy – Expert, RF Ministry of Industry and Trade, Moscow, Russian Federation.

Maxim G. Rakhutin – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Mining Machines at the Mining Institute of the MISiS National Research Technological University, Moscow, Russian Federation.

Yuriy V. Kirichenko – Doctor of Engineering, Professor, Department of Geology and Mine Surveying at the Mining Institute of the MISiS National Research Technological University, Moscow, Russian Federation.

Yevgeniy A. Kuzin – Head of Department for Monitoring and Supervision of Underground Railway Facilities, Committee for State Construction Supervision of the City of Moscow, Moscow, Russian Federation.

Grigory S. Ivashchenko – postgraduate student, Department of Geology and Surveying at the Mining Institute of the MISiS National Research Technological University, Moscow, Russian Federation.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 27.12.2019

Поступила после рецензирования: 15.01.2020

Принята к публикации: 31.01.2020

Article info

Received: 27.12.2019

Revised: 15.01.2020

Accepted: 31.01.2020